

Title	放湿過程の木材の誘電的性質について
Author(s)	竹村, 富男; 三林, 進
Citation	京都大学農学部演習林報告 = BULLETIN OF THE KYOTO UNIVERSITY FORESTS (1966), 38: 200-205
Issue Date	1966-11
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/191414">http://hdl.handle.net/2433/191414</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

# 放湿過程の木材の誘電的性質について

竹 村 富 男 ・ 三 林 進

## Effect of Desorption of Water on Dielectric Properties of Wood

Tomio TAKEMURA and Susumu MIBAYASHI

### 目 次

要 旨.....	200	b. 放湿過程の木材の誘電性.....	202
まえがき.....	200	c. 水分非平衡状態における木材の誘電損.....	204
実験材料.....	201	失の意義	
実験方法.....	201	参考文献.....	205
実験結果と考察.....	201	Résumé.....	205
a. 水分平衡状態の木材の誘電性.....	202		

### 要 旨

放湿中の木材（ブナ，半径方向，30°C）の誘電的性質を Y. E. W. 製の Q メータを用いて，周波数  $50 \times 10^3 \sim 10,000 \times 10^3 \%$  の範囲で測定し，これと水分平衡時の木材のそれとを比較・考察した。

その結果，含水率 7～13% では，誘電損失率は水分平衡時におけるよりも，放湿時における方が幾分大きいことが見出された。またそれ以下の低い含水率範囲では，両状態における誘電損失率の差異は明らかでなかった。

他方，誘電率は水分の平衡・非平衡に関係なく，同一含水率ではつねにほぼ一定値を示した。

これらのことから，放湿過程において生ずる脱着点の -OH 基は水分子の脱着と同時に再結合することなく，暫時不安定な状態にあると推測される。これはまた放湿中の木材の力学的緩和からえられる知見とよく一致する。

しかしながら，このような水分非平衡にともなって出現するとみられる，一種の緩和時間の存在とその大きさは，測定周波数領域の拡大と測定精度の向上によって，将来さらに明らかにされなければならないことがらである。

### ま え が き

放湿中の木材は水分平衡時の木材にくらべて変形性能が著しく増大する。一方，放湿過程では，材中の吸着水は -OH 基，-O- 基，-COOH 基などの親水基から漸次離脱するはずである。しかしながら，これらの基は水分子の脱着と同時に必ずしも安定な状態に達するとは限らないであろう。

もしこのことが放湿中の木材の変形性能を増大させる直接的な原因の一つであるとすれば，放湿中の木材は誘電的性質においても，水分平衡時の木材とことなる挙動を示すことが期待される。なぜならば，電場内におかれた極性基は電場方向に配向しようとする。しかるに，極性基が水分子の脱着直

後において前記のように不安定な状態にあるとすれば、極性基に対する外部電場の作用は、水分平衡時と非平衡時でおのずから相違すると考えられるからである。

本研究はこのような力学的性質と誘電的性質との対応性を通じて、放湿中の木材の特異な変形挙動のメカニズムを明らかにしようとして始められたものである。

なお、誘電測定は繊維飽和点以下の比較的低い含水率域でおこない、材中の水分を一定に保持した場合および放湿させつつある場合のおおのについて、誘電率および誘電損失率（直接には  $\tan \delta$ ）を求めることにした。

本研究を御指導いただいた中戸教授に謝意を表する。

## 実 験 材 料

供試材料はブナの辺材部で、試片の形状は厚さ約 0.2cm、直径 4.2cm の円板型とした。また、試片の円板面は木材の接線面で、これに接する電極板により、木材の半径方向に電場がかけられた。このとき試片の静電容量は気乾状態で約 20pF であった。

試片の気乾比重は約 0.57、平均年輪幅は約 1.7mm で、厚さと共にこれらができるだけ均一になるように試片の選択に留意した。

## 実 験 方 法

誘電測定装置は横河電気製作所製の Q メータ (QM-101 型) と Q メータ用誘電体測定用電極で、後者は導線を介して、密閉可能な真空ガラス鐘内におかれた。ガラス鐘はまた温度 30°C、関係湿度約 75 % の恒温恒湿槽内にあり、ガラス鐘内の湿度は飽和塩溶液・硫酸水溶液あるいは乾燥剤によって所定の値に調節された。

実験は前述のように放湿過程および水分平衡時の誘電測定の二つに大別される。放湿過程の測定では、あらかじめ  $\text{KNO}_3$  飽和水溶液によって調湿された含水率約 22 % の試片を、 $\text{P}_2\text{O}_5$  を乾燥剤として含水率約 0.5 % まで放湿させながら測定した。すなわち、調湿試片の重量減少から平均含水率を推定し、適当な含水率間隔で誘電率および誘電正接を測定した。

ただし、試片の放湿はガラス鐘内で石英スプリングにつるした状態でおこなわれたので、試片は誘電測定の都度、スプリングから取りはずし、電極板に装着された。また試片の重量減少はスプリング長の経時的変化を読取顕微鏡で測定し、1mmg の変化まで正確に求められた。

このようにして、初期含水率約 22 % の調湿試片が約 0.5 % まで乾燥されるために要する時間はおおよそ 24 時間であった。

水分平衡時の誘電測定では、試片はあらかじめ種々の飽和塩溶液および硫酸水溶液で、予定含水率 0.1, 2, 4, …… , 10, 12 % に調湿され、さらに測定開始前、ガラス鐘内で 24 時間以上、再調湿されたのち測定に供された。

測定に用いた周波数範囲は、どの場合にも  $5 \times 10^4 \sim 1 \times 10^7$  % であった。

## 実 験 結 果 と 考 察

Q メータからえられる測定量は前記のように誘電率  $\epsilon'$  および誘電正接  $\tan \delta$  であるが、誘電損失を表示する量としては、誘電正接より誘電損失率  $\epsilon''$  による方が合理的と考えられるので、以下においては前者より後者を用いることにする。これらの量の間には、よく知られているように次の関係

$$\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''$$

$$\varepsilon''/\varepsilon' = \tan \delta$$

がある。ここで  $\varepsilon$  は複素誘電率,  $\delta$  は損失角,  $i$  は虚数単位である。

#### a. 水分平衡状態の木材の誘電性

放湿過程における木材の誘電的特徴を知るためには、まず水分平衡状態の木材について誘電性を明らかにしなければならない。この場合、既往の研究によりおおよその性質を知ることができるが、試料・測定法・測定条件などによって測定値に多少の相違が予想されるので、前記の試片と測定条件下で誘電率および誘電損失率をもとめることにした。ただし誘電損失率は  $\varepsilon'$  と  $\tan \delta$  を用いて前式の関係から算出されたものである。

Fig. 1, 2 はこのようにしてえられた結果の一部をあげたもので、それぞれ含水率が0.1, 4.4, 7.2, 12.9%の一定値に保たれたときの誘電率および誘電損失率の周波数依存性を示したものである。これらから誘電率および誘電損失率は周波数によって変化するが、同一周波数では両者は含水率の高いほど大きな値を示すことがわかる。

また誘電率は含水率の高いほど周波数依存性が顕著で、周波数の増大と共に誘電率は減少する傾向が認められる。これに対して誘電損失率の周波数依存性は含水率域の相違によって著しくことなる。すなわち、低含水率域では  $5 \times 10^5$  付近に誘電損失率の極大点がみられるが、含水率7.2および12.9%では、このような極大点の存在は認められない。しかも低含水率の場合には、誘電損失率は周波数の増大と共に極大点まで増大するが、高含水率では誘電損失率は周波数がまずにつれ、かえって減少するかまたはわずかに変化する。

誘電率・誘電損失率のこのような周波数および含水率依存性は、Trapp と Pungs の測定結果と全く類似する。<sup>2)6)</sup>

#### b. 放湿過程の木材の誘電性

放湿過程は材中の水分量が徐々

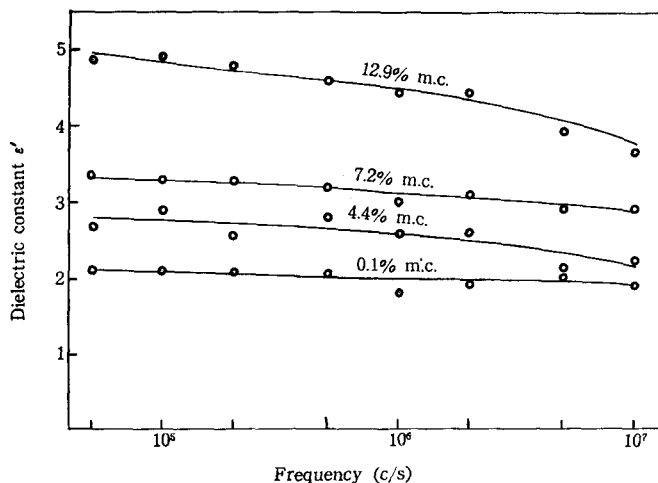


Fig. 1. Dielectric constant of Buna at various equilibrium moisture contents.

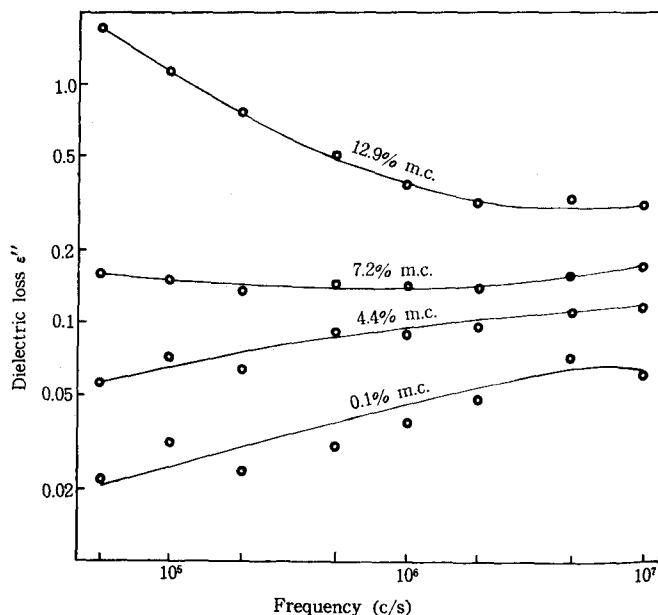


Fig. 2. Dielectric loss of Buna at various equilibrium moisture contents.

に減少する過程であるから、上にみた誘電率および誘電損失率の水分依存性からこの場合の誘電性がある程度推測することができる。

すなわち、誘電率および誘電損失率は放湿による含水率の低下と共に減少するはずである。Fig. 3, 4はこのことを周波数 $5 \times 10^5$  %について例示したものである。図から明らかなように誘電率・誘電損失率はともに高含水率にあるほど急激に含水率の減少にともなって減少する。

しかしながら、このことは必ずしも放湿時の誘電性が水分平衡時のそれに一致することを保証するものではない。Fig. 5 は含水率 12.0 %における誘電損失率の周波数分散を水分平衡時と放湿時について示したものであるが、放湿時の値は水分平衡時の値にくらべて明らかに大きい。しかし同様の比較を含水率 2.5 %について試みると、Fig. 6 のように水分の平衡・非平衡による誘電損失率の差異はきわめて小さく、またその差の正負は周波数に対して、一定の傾向を示さない。したがってこの場合の誘電損失率の差異は、主として測定誤差に起因するものと思われる。

同様な検討を他の含水率についてもおこなうと、結局、測定の範囲内で、含水率 7.2 % 以上では Fig. 5 と同様な関係がみられ、それ以下の含水率域では Fig. 6 と同様な関係の認められることが明らかとなる。

一方、誘電率に関しては、すべての含水率において放湿時と水分平衡時の間にほとんど差のないことが確かめられる。<sup>\*</sup>

したがって放湿時に誘電損失率がある含水率域で水分平衡時にくらべて増大することは、水分非平衡が木材の誘電性におよぼす効果として注目されるべき現象であろう。そこでこのことについて、次

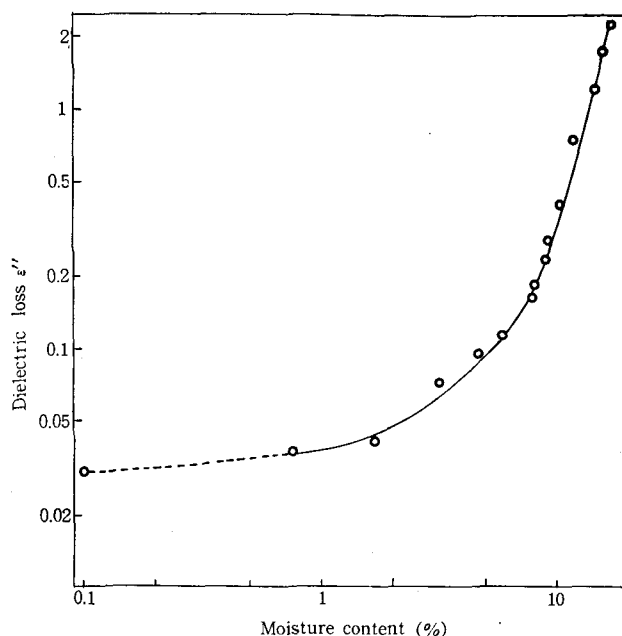


Fig. 3. Dielectric loss of Buna during desorption of water at  $5 \times 10^5$  %.

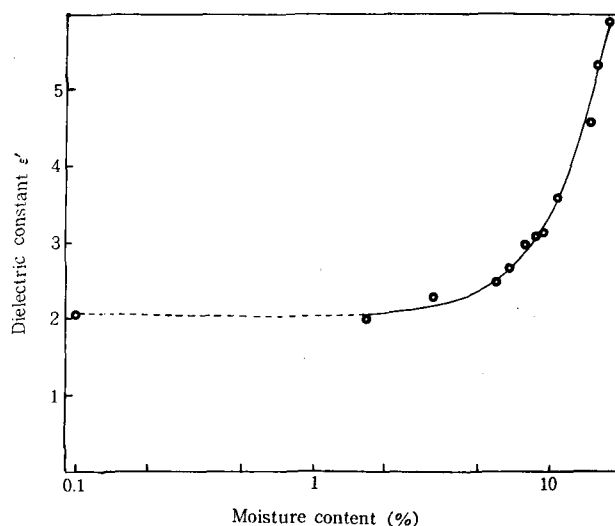


Fig. 4. Dielectric constant of Buna during desorption of water at  $5 \times 10^5$  %.

<sup>\*</sup> これは実験の範囲内で、材中での水分分布の不均一が測定値にほとんど影響しないことを間接的にしめしている。<sup>1)</sup>

に若干の考察をこころみることにする。

c. 水分非平衡状態における木材の誘電損失の意義

はじめにふれたことから明らかに木材はいろいろな極性基をもち、したがってこれらが木材の誘電性に関与することは、きわめて当然のことであろう。しかし木材はまた種々の細胞からなり、細胞はまた細胞膜の層状構造、ミクロフィブリル構造さらに結晶・非結晶構造など多くの点で不均質構造を示す。

しかるに不均質構造をもつ誘電体は、不均質構造に起因する誘電緩和を示すことが知られている。したがって木材における上述の不均質構造が多少とも誘電的に不均質な構造をも意味するものならば、これがまた木材の誘電性に寄与するとみななければならない。

このように考えると、木材の誘電性は非常に複雑なものとなるが、われわれがここで考察の対象とする

誘電損失率の差異は、材中の水分放出にともなう生ずる。したがってこの差異は、水分子と結合する極性基（特に-OH基）の誘電的挙動と、もっとも密接な関係にあると思われる。

一方、誘電体論によれば、誘電損失は周期的電場のもとにある誘電体に、単位時間・単位体積当りに発生する熱量をあらわし、特に高周波の場合には熱量は誘電損失率に比例するとみなされる。また誘電損失現象は誘電余効現象と同じ原因によって生ずる。したがって誘電損失率ないしは発熱による電気的エネルギーの損失に対応して、誘電的緩和機構の存在が予想される。

これは上述のことから水と結合する極性基の挙動と結びつけて考えられなければならない。極性基、したがって双極子の存在による誘電緩和の説明には、現在までに多くの理論が提出されている。これらの双極子理論が相互にことなることはもちろんであるが、これらはまたいずれも双極子の配向分極をあつかう点で一致する。すなわち、電場に対して双極子の配向分極に位相のおくれを生ずることが、誘電緩和であると解されている。<sup>3)4)</sup>

そこで水分子を脱着した極性基が脱着と同時に水分平衡時の安定な状態に達せず、少時不安定な状態にあると仮定すれば、極性基あるいは分子は水分平衡時にくらべて配向しやすい状態にあることになる。したがってここに水分非平衡によって、新たにもたらされる誘電緩和の可能性が存在する。しかも極性基が不安定な状態から安定な状態へ移る単位時間当りの確率は、極性基間の結合力の強い低含水率域において大であるとおもわれる。

水分非平衡にともなう誘電緩和をこのように考えれば、さきにもみた水分平衡・非平衡間における誘電損失率の差異および差異の水分依存性は、きわめて明瞭に説明される。またこのような説明は、当

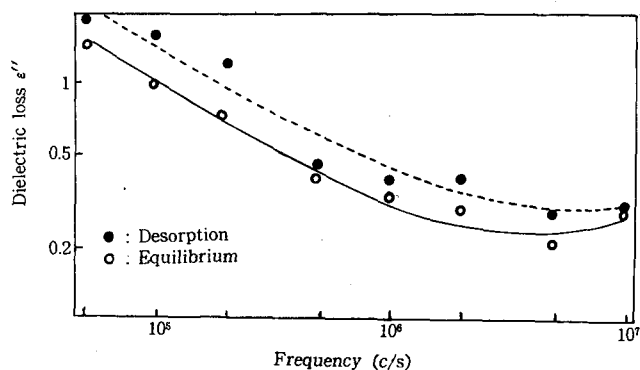


Fig. 5. Comparison of dielectric loss of Buna at 12.0% moisture content level.

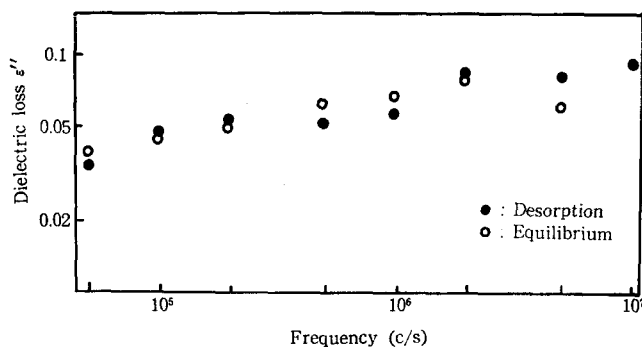


Fig. 6. Comparison of dielectric loss of Buna at 2.5% moisture content level.

初にのべられた放温中の木材が水分平衡時にくらべて変形しやすいこととも合致する。なぜならば、極性基の不安定な状態は同時に微視的構造の力学的なゆるみをも意味するからである。

以上によって水分非平衡時の木材の誘電的性質、とくに誘電損失率の特異な意義を定性的に論じたが、実験的には誘電的緩和時間の大きさを明らかにすることが今後の重要課題であろう。

また理論的には、双極子理論と不均質誘電体論の統一、吸・放湿過程の厳密な記述と水分分布の誘電性への寄与を知ることなどが、大切な課題と考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 星合正治：電気式水分計，日刊工業新聞社（1960）
- 2) Kröner, K. und L. Pungs : *Holzforschung*, 7, 12~18 (1953)
- 3) 岡小天：誘電体論，岩波書店（1954）
- 4) 岡小天・中田修：固体誘電体論，岩波書店（1960）
- 5) 高橋茂：誘電体損と絶縁抵抗の測定，オーム社（1955）
- 6) Trapp, W. und L. Pungs : *Holzforschung*, 10, 65~68 (1956)

## Résumé

A Q-meter (YEW. QM-101) was used to measure the dielectric constant and dielectric loss of Buna (*Fagus crenata Blume*) in the radial direction of the grain at frequencies of  $5 \times 10^5 \%$  ~  $1 \times 10^7 \%$  and a temperature of 30°C.

We compared the dielectric properties of the wood during the desorption of water with those in the equilibrium states of moisture. The results indicated that the dielectric loss of the former was greater than that of the latter in relatively high moisture contents (7.2%~12.9%). However, in the extremely and relatively low moisture contents (0.1%~4.4%) there were no differences between the two. On the other hand dielectric constants in both cases were proved to be nearly the same.

In such a dielectric substance as wood which consists of many different structural units and various constituents dielectric properties of the material result both from electrical heterogeneity and the orientation of electric dipoles.

In spite of this we assumed that the dielectric properties of wood with regard to the desorption of water result mainly from the orientation of hydrophile groups, particularly hydroxyl groups in wood. Then it comes that high values of dielectric loss of wood during the desorption of bound water may be caused by the increase of the degree of freedom of the orientation of hydroxyl groups. Because the re-conjugation of unpaired hydroxyl groups produced by the desorption of water molecules would require a finite time in general, and the time for extremely low moisture contents may be shorter than in high moisture contents. This would be also surmised from the mechanical behavior of wood during desorption which gives a deformation far greater than in the states of equilibrium moisture content.